

PENAMBAHAN TULANGAN LONGITUDINAL DENGAN KOMPOSIT MORTAR SEBAGAI ALTERNATIF PERKUATAN LENTUR PADA BALOK BETON BERTULANG

Nursiah Chairunnisa¹

Abstract - In order to maintain efficient serviceability structure cause change of function from structures likes overloading or lack of quality control at construction , structures must be strengthened so they can to fulfill the code of structures built to day and future. One of method to strengthened of structures elements was beams elements. This research had to know about effectiveness strengthening methods of reinforced concrete beams using longitudinal compression and tension reinforcement with jacketing mortar as flexural strengthening and had to know about implementation for mortar that had high flowability.

In this research specimen models consist of four specimens: one was control beam (BK), one was monolith beam (BM) and one was strengthened beam (BP) . All beams were tested under 2-point loading midspan as flexural load and also instrumented for the measurement of mid-span deflection and crack pattern.

The result show that monolith and strengthened beams have performed better in the ultimate load for BM specimen were 124,79% , BP specimen were 75,49% compared BK specimen. Ductility of beam at experiment for BM specimen decrease were 55,78% compared BK , ductility of BP specimen increased were 50,61% compared BK specimen because of debonding . Failure patterns of the control beam (BK) and monolithical beam (BM) were flexural while the strengthened beam (BP) had debonding. At this researched, methods of strengthened reinforced concrete beam with mortar jacketing had simply worked for implementation.

Keywords: Reinforced concrete beam, strenghtenning, mortar

PENDAHULUAN

Kegagalan dan kerusakan pada struktur bangunan dapat terjadi karena adanya perubahan fungsi bangunan seperti penambahan beban kerja dan atau kurangnya *quality control* saat konstruksi. Dalam kaitannya dengan mempertahankan struktur bangunan tersebut agar tetap dapat dipergunakan maka dapat dilakukan perkuatan (*strengthening*) dengan penambahan tulangan pada daerah tarik. Perkuatan dengan penambahan tulangan tarik saja pada kondisi tertentu dapat menyebabkan perubahan kearah kondisi *overreinforced*, sehingga perlu diberikan penambahan tulangan pada daerah tekan agar kondisi menjadi seimbang (*balance*).

Perkuatan yang biasa dilakukan adalah perkuatan dengan penambahan *Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP)*. Perkuatan dengan metode ini akan memakan biaya yang cukup mahal dan terkadang sulit untuk mendapatkan *CFRP* di pasaran. Perkuatan lainnya yang biasa digunakan adalah perkuatan konvensional yaitu dengan penambahan tulangan baja dan beton. Perkuatan dengan metode ini mengalami kendala dalam hal pengecorannya, terutama untuk pengecoran bagian bawah balok karena keterbatasan dimensi maupun kerapatan tulangan. Oleh karena faktor-faktor kesulitan diatas maka penelitian ini merupakan alternatif perkuatan yang dapat dilakukan yaitu dengan penambahan tulangan tarik dan tekan pada balok dengan komposit mortar.

¹ Staf Pengajar Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat, e-mail: nurhoufa@yahoo.com

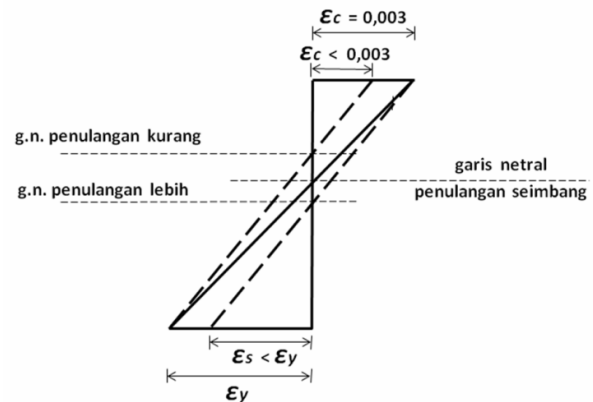
Penggunaan mortar bertujuan untuk mempermudah pengecoran karena mortar mempunyai sifat *flow* (daya alir) tinggi sehingga memungkinkan untuk kondisi keterbatasan dimensi, tulangan yang rapat pengecoran akan mudah dilakukan. Metode perkuatan ini relatif mudah untuk diterapkan karena keberadaan bahan dan metode pelaksanaannya yang relatif sederhana.

KAJIAN TEORITIS

Analisis Kapasitas Batas

Dalam Dipohusodo (1994) disebutkan bahwa jika penampang balok beton bertulang mengandung tulangan baja tarik berlebih dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, maka penampang balok seperti ini disebut penampang dengan tulangan berlebih (kondisi *overreinforced*). Kelebihan tulangan baja tarik ini akan menyebabkan garis netral bergeser ke bawah (lihat Gambar 1). Hal ini menyebabkan beton lebih dulu mencapai regangan maksimum sebesar 0,003 sebelum baja tulangan tarik leleh. Jika penampang balok tersebut dibebani dengan momen lebih besar lagi yang berarti regangan yang terjadi akan semakin besar juga sehingga kemampuan regangan beton terlampaui, maka penampang balok seperti demikian akan mengalami keruntuhan dengan beton hancur mendadak / getas tanpa didahului dengan peringatan lebih dahulu. Keruntuhan tipe ini disebut keruntuhan getas (*brittle*). Untuk penampang balok beton bertulang dengan jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan dinamakan penampang bertulangan

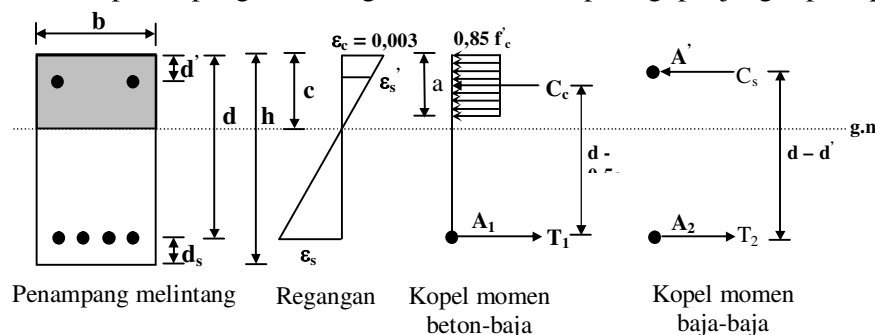
kurang atau kondisi *underreinforced*. Tulangan baja tarik yang sedikit ini akan menyebabkan garis netral bergeser ke atas karena tulangan baja tarik akan mencapai regangan leleh lebih dahulu sebelum beton mengalami regangan sebesar 0,003. Sesaat setelah tulangan baja mengalami leleh, lendutan balok akan meningkat tajam yang dapat dijadikan sebagai tanda-tanda keruntuhan balok. Keruntuhan tipe ini disebut keruntuhan daktil.



Gambar 1. Variasi letak garis netral saat runtuh (Dipohusodo,1994)

Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Dalam Dipohusodo (1994), kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-regangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Perhitungan kekuatan lentur M_n dapat ditentukan dengan penyederhanaan bentuk distribusi tegangan yang mendekati bentuk parabola dengan bentuk persegi panjang seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi tegangan dan regangan ekuivalen pada balok bertulangan rangkap (Dipohusodo,1994)

Daktilitas

Paulay and Priestley (1992) menyebutkan bahwa daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk mengalami lendutan yang cukup besar pada saat beban maksimal tercapai sebelum mengalami keruntuhan. Besarnya daktilitas maksimum diidentifikasi sebagai *displacement ductility factor* μ , yaitu :

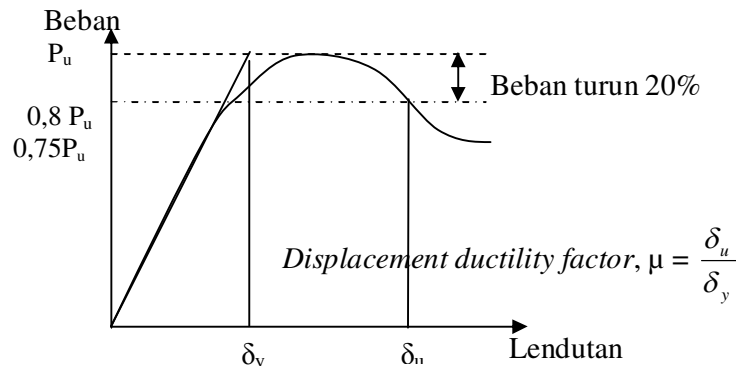
$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \dots\dots\dots (5)$$

dengan: μ = *displacement ductility factor*

δ_u = lendutan ultimit

δ_y = lendutan saat leleh

Hubungan pendekatan beban dan lendutan pada balok bertulang sampai melewati beban maksimum untuk balok (Park dan Paulay, 1990; Paulay dan Priestley, 1992) dapat dibuat seperti terlihat pada Gambar 3.



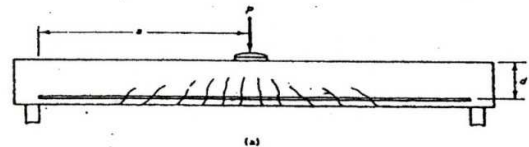
Gambar 3. Hubungan pendekatan beban dan lendutan elemen beton bertulang (dari berbagai sumber)

Keruntuhan Balok

Menurut Nawy (1990) ada tiga jenis keruntuhan (atau kombinasinya) yaitu :

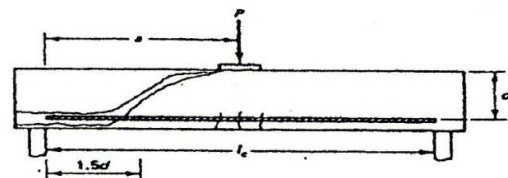
1. Keruntuhan lentur.
2. Keruntuhan tarik diagonal.
3. Keruntuhan tekan geser.

Pada balok langsing cenderung terjadi ragam keruntuhan lentur yang ditandai dengan terjadinya retak terutama pada sepertiga tengah bentang. Apabila beban bertambah, retak di tengah bentang akan semakin bertambah dan retak awal yang sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang yang diikuti dengan semakin besarnya lendutan ditengah bentang. Jika balok dalam kondisi *underreinforced*, maka keruntuhan ini merupakan keruntuhan daktil yang ditandai dengan lelehnya tulangan tarik. Ragam keruntuhan lentur dapat dilihat pada Gambar 4



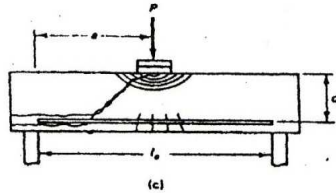
Gambar 4. keruntuhan lentur balok

Keruntuhan tarik diagonal terjadi apabila kekuatan balok arah diagonal tarik lebih kecil dari kuat lenturnya seperti terlihat pada Gambar 5. Keruntuhan ditandai dengan retak mulai terjadi ditengah bentang, berarah vertikal berupa retak halus akibat lentur dan diikuti dengan rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton disekitarnya pada perletakan.



Gambar 5. keruntuhan tarik diagonal

Balok yang mengalami keruntuhan tekan geser dimulai dengan timbulnya retak lentur halus vertikal di tengah bentang dan tidak terus menjalar karena hilangnya lekatan antara tulangan longitudinal dengan beton di sekitarnya pada daerah perletakan, setelah itu diikuti retak miring yang lebih curam daripada retak diagonal tarik seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. keruntuhan tekan geser

Mortar

Dalam Tjokrodinuljo (2004) mortar untuk pekerjaan bangunan harus memiliki

sifat-sifat seperti *workability*, tahan terhadap rembesan air, melekat dengan baik, cepat kering, tahan lama dan tidak menimbulkan retak-retak setelah dipasang. Ada 3 (tiga) macam jenis mortar, yaitu mortar lumpur, mortar kapur dan mortar semen. Mortar mempunyai kuat tekan yang bervariasi sesuai dengan bahan penyusunnya dan perbandingan antara bahan-bahan penyusunnya. Umumnya kuat tekan mortar berkisar antara 3-17 MPa dengan berat jenis antara 1800-2200 kg/m³.

METODE

Benda uji Balok

Spesifikasi benda uji pada penelitian ini terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 7 sampai Gambar 9.

Tabel 1. Spesifikasi benda uji

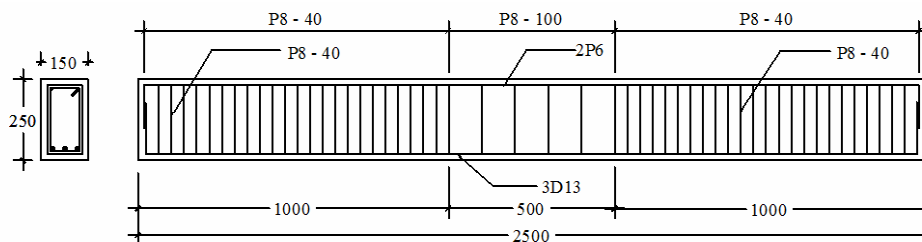
Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Perlakuan	Tul. Utama		Tul. Perkuatan	
					Atas	Bawah	Atas	Bawah
BK	2500	150	250	-	2D6	3D13	-	-
BM	2500	190	330	-	2D6	3D13	1D13	2D13
BP	2500	190	330	Tanpa perlakuan	2D6	3D13	1D13	2D13

Keterangan :

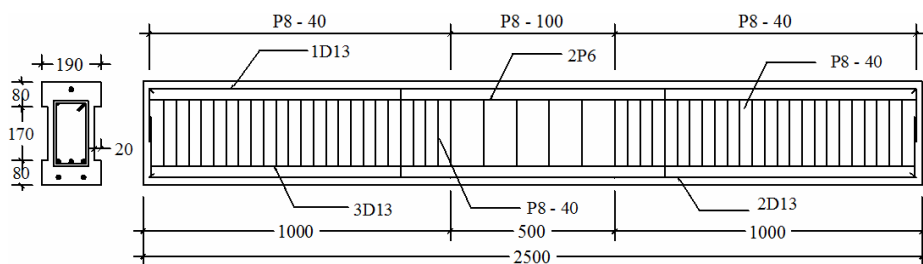
BK : Balok kontrol

BM : Balok kontrol yang diperkuat 1 tulangan tekan dan 2 tulangan tarik dicor monolit.

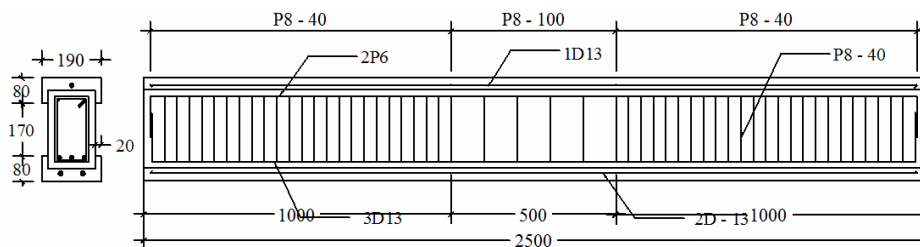
BP : Balok kontrol yang diperkuat 1 tulangan tekan dan 2 tulangan tarik dicor terpisah tanpa perlakuan



Gambar 7. Penampang memanjang dan melintang balok kontrol (BK)



Gambar 8. Penampang memanjang dan melintang balok monolit (BM)

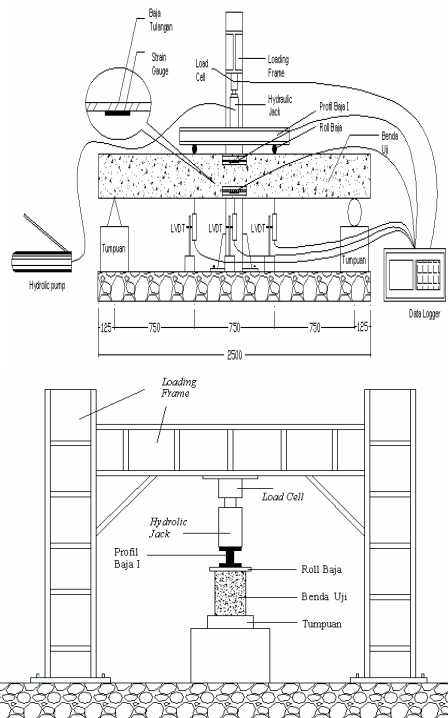


Gambar 9. Penampang memanjang dan melintang balok perkuatan (BP)

Pengujian Benda Uji Lentur

Benda uji ditempatkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi di ujung yang satu dan rol pada ujung yang lainnya. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan beban dua titik di sepertiga bentang yaitu sebesar 750 mm. Pemberian beban dilakukan dengan memompakan *hydraulic pump* yang diteruskan ke *hydraulic jack* dan beban yang diberikan melalui *hydraulic jack* dapat dibaca oleh *load cell* dan terekam oleh *data logger*.

Pemberian beban dilakukan bertahap dengan interval kenaikan sebesar 2 kN sampai balok mengalami retak awal, setelah itu dilakukan dengan interval kenaikan sebesar 1 kN sampai balok mengalami keruntuhan. Kondisi ini ditandai dengan tidak adanya peningkatan beban, tetapi lendutan yang terjadi meningkat tajam. Pada pemberian beban juga dapat terukur besarnya regangan baja dengan *strain gauge* yang dipasang yang juga akan terekam pada *data logger*. Lendutan vertikal diukur dengan menggunakan *LVDT* yang dipasang 3 buah. *Set-up* alat dan pembebanan dari benda uji balok dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. *Set-up* pengujian balok beton

Data yang akan diperoleh dari pengujian lentur meliputi :

- lendutan selama pembebanan berlangsung
- besarnya beban pada saat terjadi retak
- besarnya beban maksimum
- pola retak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Pendahuluan

1. Kuat tekan silinder beton hasil eksperimen ini sebesar 28,51 MPa.
2. Kuat tekan mortar dengan komposisi campuran 1kg semen : 1,5 kg pasir : 400 cc air : 15 cc viscocrete (Hendra, 2005; Wancik, 2008) yang diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 56,13 Mpa.

3. Kuat lekat tulangan dengan beton adalah sebesar 11,47 MPa.
4. Kuat lekat tulangan dengan adalah sebesar 11,20 MPa.

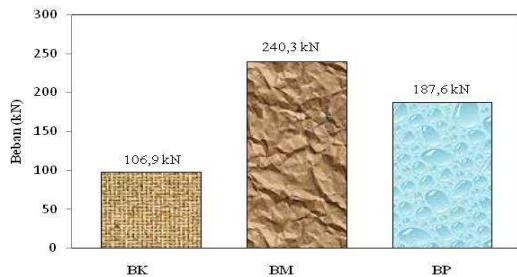
Hasil Pengujian lentur

Hasil pengujian lentur dari balok kontrol (BK), balok monolit (BM), balok perkuatan (BP) ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 11.

Tabel 2. Hasil pengujian lentur balok uji

No	Benda Uji	Kapasitas Beban (kN)		Lendutan (mm)		Lebar retak (mm)		Persentase Peningkatan Beban (%)	Type Keruntuhan
		Retak1	Maks	Retak1	Maks	Retak1	Maks		
1	BK	20,7	106,9	2,73	39,91	0,06	1,2	0	lentur
2	BM	33,4	240,3	2,34	21,48	0,04	0,8	124,79	lentur
3	BP-1	31,9	187,6	0,90	52,09	0,04	0,2*	75,49	debonding

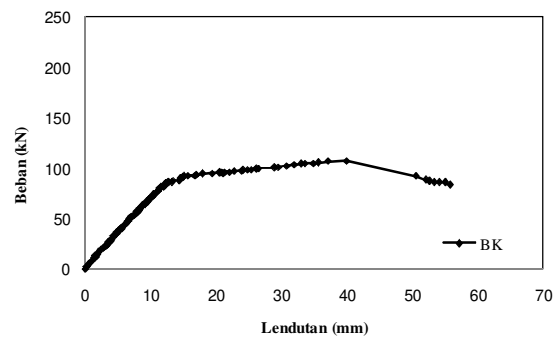
Keterangan: *= pembacaan lebar retak saat *debonding*.



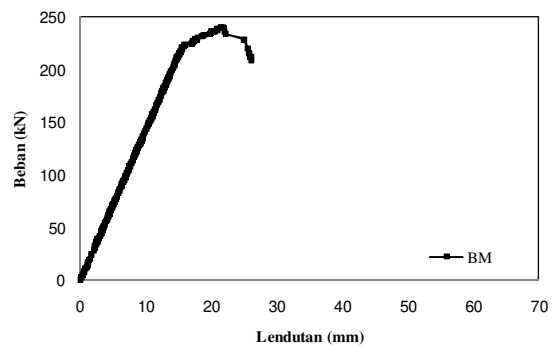
Gambar 11. Peningkatan beban balok benda uji (eksperimen)

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 11 terlihat bahwa peningkatan kapasitas lentur yang diperkuat lentur dengan penambahan tulangan tekan dan tulangan tarik akan meningkat signifikan dibandingkan dengan balok kontrol (BK). Balok monolit mengalami peningkatan rata-rata sebesar 124,79%, balok perkuatan tanpa *bonding agent* (BP) mengalami peningkatan rata-rata sebesar 74,04%. Peningkatan balok benda uji balok perkuatan (BP) cenderung lebih rendah dibandingkan dengan balok monolit (BM), hal ini terjadi karena benda uji ini mengalami *debonding* pada beban tertentu, sehingga untuk balok ini belum mencapai kapasitas beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok.

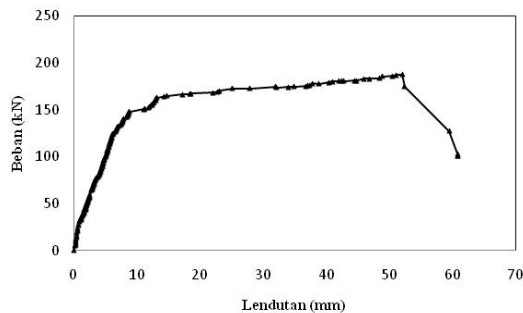
Hubungan beban lendutan hasil pengujian berdasarkan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 12 sampai Gambar 14.



Gambar 12. Hubungan beban lendutan balok kontrol (BK)



Gambar 13. Hubungan beban lendutan balok monolit (BM)



Gambar 14. Hubungan beban lendutan balok perkuatan (BP)

Daktilitas Balok Benda Uji

ASTM C1018 dalam Foster dan Attard (1997) menyebutkan bahwa daktilitas adalah perbandingan besarnya nilai lendutan pada saat beban ultimit dibandingkan dengan lendutan leleh. Besarnya lendutan ultimit adalah lendutan saat beban mengalami penurunan sebesar 20% dari beban puncak seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 3 pada bab terdahulu. Besarnya nilai daktilitas dari benda uji dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Nilai daktilitas benda uji

Benda uji	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Daktilitas ($\delta = \delta_u / \delta_y$)	Persentase * (%)
BK	15,38	54,16	3,521	0
BM	16,84	26,22	1,557	-55,78
BP-1	10,68	56,64	5,303	+50,61

Keterangan: * = Persentase peningkatan daktilitas dihitung terhadap balok kontrol

Dari Tabel 3 terlihat bahwa besarnya nilai daktilitas untuk balok kontrol adalah sebesar 3,521, balok monolit (BM) sebesar 1,557, balok perkuatan (BP) sebesar 5,303. Dari perhitungan terlihat bahwa balok monolit mengalami persentase penurunan daktilitas sebesar 55,78% dari balok kontrol, sedangkan untuk balok perkuatan baik balok perkuatan mengalami peningkatan masing-masing sebesar 50,61%. Adanya peningkatan besarnya nilai daktilitas untuk balok BP mengindikasikan bahwa balok perkuatan ini mengalami *debonding*, yaitu lepasnya perkuatan berupa lapisan mortar dan tulangan baja perkuatan dari balok uji. Hal ini akan mengakibatkan berhentinya kemampuan tulangan baja perkuatan untuk menahan

beban dan posisi ini digantikan oleh tulangan pokok baja sehingga balok uji akan cenderung mengalami peningkatan nilai daktilitas.

Pola Retak dan Keruntuhan

Balok Kontrol (BK)

Pada hasil pengujian diperoleh bahwa retak pertama terjadi pada beban 20,7 kN dengan lendutan sebesar 2,73 mm untuk balok kontrol yang terjadi di daerah lentur pada tengah bentang yang semakin melebar dan berkembang ketika beban meningkat. Grafik hubungan beban dan lendutan mendekati linier hingga beban leleh tercapai dan balok terus melendut di bawah beban yang hampir konstan. Beban runtuh untuk balok kontrol tercapai sebesar 106,9 kN dengan lendutan sebesar 39,91 mm. Balok mengalami keruntuhan lentur. Pola keruntuhan balok kontrol (BK) berdasarkan hasil pengujian terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Pola Retak benda Uji balok kontrol (BK) hasil pengujian

Balok Monolit (BM)

Retak pertama balok monolit terjadi pada beban mencapai 33,4 kN pada bagian tengah bentang dan retak berkembang di daerah lentur dengan beberapa retak mengembang ke arah tumpuan ketika beban yang diberikan pada balok meningkat. Beban maksimum tercapai pada beban 240,3 kN dengan lendutan sebesar 21,48 mm. Pola keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur-geser. Beban balok monolit mengalami kenaikan sebesar 124,79% terhadap balok kontrol. Pola keruntuhan balok monolit (BM) berdasarkan hasil pengujian terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Pola Retak benda Uji Balok Monolit (BM) hasil pengujian

Balok perkuatan (BP)

Retak pertama terjadi pada beban sebesar 31,9 kN dengan lendutan sebesar 0,90 mm, dengan bertambahnya beban retak juga terus berkembang merata di daerah lentur dengan beberapa retak yang mengembang di daerah tumpuan. Beban maksimum dicapai sebesar 187,6 kN dengan lendutan sebesar 52,09 mm. Pada balok perkuatan (BP) ini terjadi lepasnya mortar perkuatan dari beton lama (*debonding*) dimulai kira-kira pada beban 148,2 kN yang ditandai dengan pembacaan regangan tidak menunjukkan kenaikan, tetapi mengalami penurunan dari 0,002214 menjadi 0,00145 pada pembacaan strain gauge yang dipasang pada balok perkuatan tarik. Balok BP ini tidak mencapai leleh karena pembacaan regangan maksimum adalah 0,002279, sedangkan leleh yang seharusnya terjadi pada balok adalah 0,002407. Beban runtuh yang dicapai oleh balok perkuatan sebesar 187,6 kN dengan lendutan sebesar 52,09 mm. Beban balok BP mengalami kenaikan rata-rata 75,49% terhadap balok kontrol. Pola keruntuhan balok BP berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 17.



(a) Pola retak benda uji BP



(b) *Debonding* selimut perkuatan BP

Gambar 17. Pola Retak dan terjadinya *debonding* benda uji BP

Evaluasi Pengerjaan Balok Perkuatan

Dari hasil eksperimen di Laboratorium metode perkuatan dengan penambahan tulangan tarik dan tulangan tekan dengan selimut mortar relatif mudah dikerjakan, hal ini dikarenakan campuran mortar yang dipergunakan memiliki sifat yang sangat mudah mengalir (*flow*) yang tinggi sehingga dalam hal pengecoran bagian bawah akan sangat mudah. Pengecoran bagian bawah cukup dari salah satu sisi bekisting perkuatan di mana mortar akan mengalir sendiri ke dalam bagian sisi bawah perkuatan dan dibiarkan sampai mortar meluap ke sisi sebaliknya. Untuk pengecoran bagian atas perkuatan sangat mudah karena campuran mortar hanya disebar ke atas bekisting perkuatan dan campuran mortar akan mengalir sendiri sampai memenuhi bekisting perkuatan. Dalam pengerjaannya, mortar juga tidak perlu dipadatkan dengan *vibrator* karena mortar dengan mudah dapat memadat sendiri.

Oleh karena sifat *flow* (daya alir) yang tinggi ini, mortar dapat mudah masuk di antara sela-sela tulangan perkuatan dan ke dalam selimut perkuatan yang memiliki ketebalan ± 20 mm, sehingga memungkinkan untuk perkuatan yang sangat rapat dalam segi jumlah tulangannya dan segi selimut perkuatan dengan ketebalan relatif tipis. Dalam perawatannya, sama halnya dengan beton perawatan dilakukan dengan ditutup dengan karung goni basah ± 2 (dua) minggu. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa perkuatan dengan selubung mortar relatif mudah dalam segi pengerjaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting antara lain adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan lentur hasil pengujian di Laboratorium untuk BK, BM, BP secara berturut-turut sebesar 106,9 kN, 240,3 kN dan 187,6 kN. Kenaikan kapasitas lentur balok BM, BP terhadap BK adalah 124,79% dan 75,49%.
2. Daktilitas benda uji hasil pengujian di Laboratorium untuk BK, BM dan BP adalah 3,521, 1,557, 5,303. Persentase penurunan daktilitas BM terhadap BK sebesar 55,78%, sedangkan untuk BP daktilitas benda uji mengalami peningkatan secara sebesar 50,61% terhadap BK.
3. Retak awal *debonding* antara beton lama dengan mortar perkuatan untuk benda uji BP terjadi pada beban 34,8 kN. Kegagalan benda uji sebelum diperkuat adalah kegagalan lentur dan setelah diperkuat adalah kegagalan *debonding*.
4. Penggunaan mortar dengan komposisi campuran sebagai selimut perkuatan pada penelitian ini memiliki kemudahan dalam segi pelaksanaan pengecoran

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2003, *Concrete and Aggregates*, Annual Book of ASTM, Vol.04.02, Philadelphia
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Baja Tulangan Beton*. (SNI 07-2052-2002)
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Bandung. (SNI 03-2847-2002)
- Dipohusodo, L., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hendra., 2005, *Pengaruh Penggunaan Serutan Besi dengan Metode Preplaced Concrete pada Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Kuat Lentur*, Tesis Pasca Sarjana UGM, Jogjakarta
- Iswari,A., 2004, *Perkuatan Lentur Balok Tampang Persegi dengan Penambahan Tulangan Menggunakan Perekat Epoxy*, Tesis Pasca Sarjana UGM, Jogjakarta
- Jumaat, M, dan Alam, T., 2006, *Flexural Stengthening of Reinforced Concrete Beams Using Ferrocement Laminate with Skeletal Bars*, *Journal of Applied Sciences Research*, 2(9): 559-566, 2006
- Nawy, E.G., 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar* (diterjemahkan oleh Bambang Suryoatmono), Eresco, Bandung
- Park, R., dan Paulay, T., 1974, *Reinforced Concrete Structure*, Wiley Interscience Publication, New York
- Park, R., dan Paulay, T., 1990, *Bridge Design and Research Seminar, Vol.1 Strength and Ductility of Concrete Substructures of Bridges*, New Zealand
- Paulay,T., dan Priestley, M.I.N., 1992, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Willy n Sons Inc, Canada
- Tjokrodinuljo, K., 2004, *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Jogjakarta
- Wancik, A., 2008, *Batako Styrofoam Komposit Mortar Semen*, Tesis Pasca Sarjana UGM, Jogjakarta